Geography and Environmental Hazards
Volume 11, Issue 2 - Number 42, Summer 2022
https://geoeh.um.ac.ir
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.72600.1109

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شمارهٔ چهل و دوم، تابستان ۱٤۰۱، صص ۳۹-۲۳

مقاله پژوهشی

تعیین مناطق مستعد سیل‌خیزی با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در منطقه باقران بیرجند

جواد چزگی[۱]– استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
فرشید جهانبخشی– دانش‌آموخته علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/٦/۳۱ تاریخ بازنگری: ۱٤۰۰/۹/۲۸ تاریخ تصویب: ۱٤۰۰/۱۰/۱

چکیده

سیل در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل بارش‌های رگباری و کمبود پوشش گیاهی بیش‌تر اتفاق می‌افتد و باعث خسارت جانی و مالی زیادی در کل جهان می‌شود؛ بنابراین تعیین مناطق مولد سیل و مناطق پرخطر می‌تواند کمک زیادی در مدیریت و کنترل سیل داشته باشد. این تحقیق برای تعیین مناطق مستعد سیل‌خیزی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در منطقه باقران شهرستان بیرجند استان خراسان جنوبی انجام گرفت. ابتدا ۱۰ پارامتر مؤثر در سیل‌خیزی بر اساس نظرات کارشناسان انتخاب و با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و بهترین-بدترین (BWM) اهمیت نسبی آن‌ها به دست آمد. نتایج نشان داد پارامترهای شاخص رطوبت توپوگرافی و فاصله از آبراهه کم‌ترین امتیاز را در هر دو روش AHP و BWM داشته‌اند؛ به‌طوری‌که پارامتر بارش با اهمیت نسبی ۰,۲٦۵ و ۰,۱۳۷ در روش‌های AHP و BWM بیش‌ترین امتیاز را داشته است و بیش‌ترین تأثیر را در پهنه‌بندی دارد. نتایج پهنه‌بندی به پنج کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شد که در هر دو روش کلاس زیاد بیش‌ترین مساحت و کلاس خیلی کم کم‌ترین مساحت داشته است. کلاس زیاد در روش BWM نزدیک به ٤۸ درصد منطقه را شامل می‌شود که می‌تواند برای مناطق مسکونی شهر بیرجند در پایین‌دست خسارات جبران‌ناپذیری را به وجود آورد.

کلیدواژه‌ها: سیل‌خیزی، AHP، BWM و منطقه باقران.

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۵۸٥٤۹۷۸۲ Email: chezgi@birjand.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

چزگی، جواد؛ جهانبخشی، فرشید؛ ۱٤۰۱. تعیین مناطق مستعد سیل‌خیزی با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در منطقه باقران بیرجند. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*.۱۱(۲). صص ۳۹-۲۳

https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.72600.1109

۱-مقدمه

هرگاه شـدت بارندگی از ظرفیت نفوذ آب به داخل خاک بیش‌تر باشـد بخشی از آب حاصله از بارندگی در سطح حوضـــه باقی می‌ماند، این آب پس از پر کردن گودی‌های ســـطح زمین در امتداد شـــیب جریان پیدا کرده و از طریق شـبکه آبراهه‌ها و سـپس رودخانه اصلی از حوضه خارج می‌گردد (علیزاده، ١٣٨٦). به جریان یا بالاآمدن نسبتاً زیاد آب در یک رودخانه به میزانی که از مواقع معمولی به‌طور وضـوح بیشـتر باشـد سیل نامیده می‌شود (فرهنگ فنی آبیاری و زهکشـی، ١٣٧٦). سـیل یکی از پدیده‌های طبیعی اسـت که هرسـال خسـارات فراوانی در نقاط مختلف جهان به بار می‌آورد (پاپیانو[1] و همکاران ٢٠١٥). بررسـی‌های انجام شـده در سـال‌های اخیر حاکی از وقوع سیلاب‌های مخرب در اکثر مناطق کشـور اسـت. پژوهشی که دربارهٔ میزان خسارات و زیان‌های حاصل از رخداد سیل ٢٩ فروردین ١٣٩٥ در نوده‌خاندوز، واقع در حوضـهٔ رودخانهٔ گرگانرود انجام گرفته اسـت، مشـخص شـده که خسـارات مستقیم و ملموس ٩٢/٤ درصـد از کل خسـارات و زیان‌ها را شـامل می‌شـدند که بیشـتر مربوط به بخش‌های تأسـیسـات (حدود ٦٠٠٠ میلیون ریال) و کشـاورزی (حدود ٥٩٥٠ میلیون ریال) بود (میرزایی و سـعدالدین، ٢٠١٩). خسارات در سیل فروردین ١٣٩٨ در مجموع ١٧٩٥٣ واحد مسـکونی، ١٢٧ روستا دچار آبگرفتگی و جابجایی موقت ٢٧٤ روستا در معرض خطر در حاشـیه رودخانه‌ها و خرابی زیرسـاخت‌های شهری و راه‌های ارتباطی و غیره که حدود ١٨٠٠٠ میلیارد ریال برآورد شـد (سـازمان مدیریت بحران، ١٣٩٨). بر اسـاس اطلاعات موجود طی سال‌های ١٣٣٠ تا ١٣٧٠ نزدیک به ١٢٤ میلیارد تومان خسـارت سـیل‌های مهم کشـور بوده اسـت که ٥٥ درصد آن مربوط به سال‌های ١٣٦٠ تا ١٣٧٠ است (مهدوی، ١٣٧٨). برای مقابله با ســیلاب اقدامات مختلفی انجام می‌گیرد که بعضـــی از این اعمال، مقابله با خود ســیل مثل ایجاد ســد و احداث دیوار در حاشـیه رودخانه‌ها اســت و دســته‌ای دیگر از این اقدامات مربوط به مدیریت در حوضــه‌های آبخیز اســت که شــناســایی و پیش‌بینی عوامل مؤثر در ایجاد و تشــدید ســیلاب را در برمی‌گیرد (اربابی و همکاران، ١٣٨٧). بـا توجـه بـه اینکـه برای جلوگیری از بروز این‌گونـه پدیده‌های زیانبار در حال حاضـــر نمی‌توان در عوامل و عناصـر جوی تغییری ایجاد نمود؛ بنابراین هرگونه راه‌حل اصـولی و چاره‌سـاز را باید در روی زمین و اختصـاصـاً در حوضــه‌های آبخیز جســتجو کرد. از این نظر مناطقی که پتانسـیل بالایی در تولید سـیل دارند باید به طریقی شــناســایی شـوند. مسـلماً برای انجام این کار نیاز به شـناسایی مناطق سیل‌خیز در داخل حوضه است، زیرا به دلیل وسعت زیاد و گسـتردگی حوضــه‌های آبخیز انجام عملیات اجرایی و اصــلاحی به‌صــورت اصــولی امکان‌پذیر نخواهد بود (اربابی و همکـاران، ١٣٨٧). انـدازه و تکرار رویـداد ســـیلاب در هر منطقه بســـتگی به عوامل متعددی دارد (نیری و همکاران، ١٣٩٥). ویژگی‌های فیزیکی حوضـه آبخیز، ویژگی‌ها و اقدامات ناشـی از فعالیت‌های بشـری، ازجمله این عوامل است که شـناخت و دسـته‌بندی آن‌ها در هر منطقه‌ای از اصول اولیه مهار سیلاب و خطرات آن است (رضوی، ١٣٨٧). ایجاد

1. Papaioannou

رواناب در سطح زمین مشکلاتی مانند فرسایش خاک، وقوع سیلاب، کاهش حاصلخیزی خاک و پوشش گیاهی و حتی کاهش منابع آب زیرزمینی را دربرخواهد داشت. با اطلاع از سطوحی از یک حوضه آبخیز که پتانسیل تولید رواناب و سیل‌خیزی بالاتری دارند می‌توان تدابیری برای کاهش رواناب در نظر گرفت (درخشان، ۱۳۸۹). پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی روشی است که با در نظر گرفتن ویژگی‌ها فیزیکی حوضه‌ها و همچنین میزان تولید رواناب در هر بخش، حوضه را بر اساس توان سیل‌خیزی پهنه‌بندی می‌کند. با توجه به عدم وجود ایستگاه‌های هیدرومتری کافی در سطح زیر حوضه‌ها و کم بودن آمار و اطلاعات ثبت شده از سیل در حوزه‌های آبخیز کشور، عملاً نمی‌توان شدت سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها را به‌تنهایی از داده‌های موجود استنتاج نمود؛ بنابراین استفاده از روش‌هایی است که کمتر به داده‌های هیدرومتری و کمی نیاز دارند. روش‌های مختلفی برای تعین میزان رواناب و پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی وجود دارد، که اکثر این روش‌ها بر پایه روش‌های نموداری و استفاده از فرمول‌های تجربی، تحلیل آماری داده‌های سیلاب، تفکیک حوضه به تعدادی زیرحوضه، داده‌های دورسنجی و GIS و تلفیق آن‌ها با مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است. یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره که در تبدیل معیارهای کیفی و کمی به کار می‌رود، فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است (ساتی[1]، ۱۹۹۷). این فرایند یکی از کاربردی‌ترین مدل‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا به کمک آن می‌توان درخت سلسله مراتبی (هدف، معیارها و گزینه‌ها)، نرمال‌سازی و تلفیق کلی نتایج را انجام داد (چزگی[2]، ۲۰۱۹). سیل یکی از مهم‌ترین مخاطرات تهدیدکننده جامعه بشری محسوب می‌شود، که در دهه‌های اخیر با افزایش جمعیت و تغییر اقلیم اثرات این مخاطره بیشتر شده است؛ بنابراین مطالعه ویژگی‌های حوضه‌ها که میزان سیل‌خیزی با آن در ارتباط است می‌تواند به مدیریت صحیح این مخاطره کمک نماید. مطالعات زیادی با روش‌های تصمیم‌گیری برای تعیین مناطق مستعد سیل انجام شده است، که در ادامه ارائه شده است.

محمدی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های ایستگاه سیپویتیک، تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش تلفیق لایه‌ها (WLC) پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز قرهسو را مدل‌سازی کردند. نقشه نهایی خطر سیل‌خیزی بر پایه ترکیبی از عوامل و عناصر اقلیمی و فیزیکی یعنی ۱۱ عامل پوشش گیاهی، ارتفاع، مسیل سیلابی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از رودخانه، شیب، خاک و تراکم زهکشی تهیه شد. نتایج حاصل از پهنه‌بندی ریسک سیل‌خیزی نشان داد که طبقه ٤ به‌عنوان رده‌ای با خطر زیاد با ۲۱/۷ درصد و طبقه ۵ نیز با پتانسیل سیل‌خیزی خیلی زیاد با ۸/٤ درصد، بیشتر در مناطق کوهستانی شمال و مرکز منطقه واقع هستند، که در مجموع حدود ۳۱ درصد از محدوده حوضه آبریز را پهنه‌های سیل‌خیز خطرپذیر زیاد و خیلی زیاد در بر گرفته است.

1. Saaty
2. Chezgi

خسـروی و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای برای تهیه نقشـه‌های حسـاسـیت به سیل با استفاده از چهار مدل، یعنی نسـبت فراوانی (FR)، وزن اثبات (WofE)، فرایند تحلیلی سـلسـله مراتبی (AHP) و مجموعه نسـبت فراوانی با-FR (AHP، و مقایسـه آن‌ها در حوزه آبخیز هراز در اسـتان مازندران اسـتفاده کردند. ده عامل پهنه‌بندی سـیل شـامل زاویه شــیب، انحنای پلان، ارتفاع، شــاخص رطوبت توپوگرافی، شــاخص قدرت جریان، بارندگی، فاصــله از رودخانه، زمین‌شـناسـی، اسـتفاده از زمین و شـاخص پوشـش گیاهی تهیه شد. نتایج نشان داد که مدل نسبت فرکانس بیشترین AUCرا در مقایسـه با سـایر مدل‌ها دارد. به‌طورکلی، این چهار مدل در مناطق مسـتعد سـیل دقت منطقی را نشـان می‌دهنـد. نتـایج این مطالعه می‌تواند برای مدیران، محققان و برنامه ریزان مفید باشـد و مناطق مسـتعد برای طغیان را کاهش داده و خسارات را کاهش دهد.

رحمتی و پورقاسـمی (۲۰۱۷) در پژوهشـی به بررسـی کاربردهای جدید تابع شـواهد قطعی (EBF) ، جنگل تصـادفی (RF) و مدل‌های درختان رگرسـیون تقویت شـده (BRT) برای شـناسـایی مناطق مسـتعد سـیل در منطقه گالیکش، ایران پرداختند. از پارامترهای ارتفاع، جهت شـیب، زاویه شـیب، شـاخص رطوبت توپوگرافی، انحنای نقشه، زمین‌شـناسـی، اسـتفاده از زمین، فاصـله از رودخانه‌ها، تراکم زهکشـی و بافت خاک استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل‌های EBF و BRT نسبت بهRF عملکرد بهتری داشته است.

دانو[1] و همکاران (۲۰۱۹) با تلفیق فرایند تحلیل شـبکه (ANP)، سـنجش‌ازدور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به ارزیابی حسـاسـیت سـیل پرداختند. بر اسـاس نظر کارشـناسـان این مطالعه از یک رویکرد یکپارچه مدل ریاضـی ANP برای محاسبه وزن نسبی عوامل مختلف تأثیرگذار در سیل استفاده شده است. یافته‌ها با استفاده از وقایع سـیل واقعی در منطقه موردمطالعه از تصـاویر ماهواره‌ای تأیید شـد، که تأیید کرد بسـیاری از مناطق سـیل‌زده بر روی مناطق VHSF و HSF توزیع شـده‌اند. این رویکرد یکپارچه سـاختار مدل شبکه را امکان‌پذیر می‌کند و وابستگی متقابل بین عوامل تأثیرگذار در سـیل را نشـان می‌دهد. این شـناسـایی دقیق مناطق مستعد سیل می‌تواند به‌عنوان یک مکانیسم هشـدار سـریع عمل کند. این رویکرد را می‌توان در شـهرهایی که با بروز سـیلاب در شـناسـایی مناطق مستعد سیلاب برای کنترل مؤثرتر فاجعه سیل روبرو هستند، تکرار کرد.

رادوان[2] و همکاران (۲۰۱۹) برای ارزیابی خطر سـیل با روش سـلسـله مراتبی تحلیلی فضـایی و تلفیق با روش سـنجش‌ازدور (RS) و سـیسـتم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در شـهر ریاض عربسـتان پرداخته اسـت. چندین داده مبتنی بر سـنجش‌ازدور در انجام این تحقیق اسـتفاده شـده اسـت، ازجمله یک مدل ارتفاعی دیجیتال با دقت ۳۰ متر، نقشـه‌های زمینی و نقشـه‌های زمین‌شناسی، سوابق تاریخی بارندگی روزانه و داده‌های مربوط به سیستم‌های تخلیه آب

1. Dano
2. Radwan

باران اســت. نتایج نشــان می‌دهد که شــهر ریاض با میزان بارندگی ســالانه (۵۳–۷۱ میلی‌متر از جنوب شــرقی به شمال غربی)، در معرض سـیل ویرانگر قرار گرفته اسـت. گروه‌های خطر سیل برای یک دوره ۱۰۰ ساله به ترتیب با ۱۷، ٤۱، ۳۳ درصــد، ۸ درصــد و ۱ درصد مساحت کل بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم بوده‌اند. این کلاس‌ها مربوط به مناطق مســکونی و جاده‌های اصـلی اسـت که منجر به فاجعه سـیل می‌شـود. این سـیل‌ها باعث خسارات اقتصادی – اجتماعی، فرسـایش خاک، آسـیب به زیرسـاخت‌ها، تخریب زمین، از بین رفتن پوشش گیاهی و غوطه‌ور شدن شهرها و همچنین از دست دادن جان افراد شده است.

تلا و بالگان[1] (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای از یک مدل تصـمیم‌گیری چند معیاره مکانی یکپارچه برای طبقه‌بندی حساسیت به سـیل در منطقه ایبادان، نیجریه اسـتفاده کردند. برای بهبود دقت وزنی معیارها، از تحلیل سـلسـله مراتبی فازی (FAHP)برای محاسـبه وزن که در محیط GIS اسـتفاده کرده اسـت. ۱۰ عامل ایجاد کننده سـیل با استفاده از مدل‌های AHPو FAHP بررسـی شـد. نتایج نشـان داد بارندگی، رواناب و فاصـله تا جریان به‌عنوان مهم‌ترین فاکتورهای ایجاد کننده سـیل با وزن FAHP و AHP به ترتیب ۲۲٪، ۱۸٪، ۱٦٪ و ۲۳٪، ۲۳٪، ۱۸٪ اسـت. نقشـه‌های FAHP و AHPمنطقه جنوب را به‌عنوان مسـتعدترین منطقه شـناسـایی کرده‌اند، همچنین FAHP حسـاسـیت منطقه مرکزی را برجسته می‌کند.

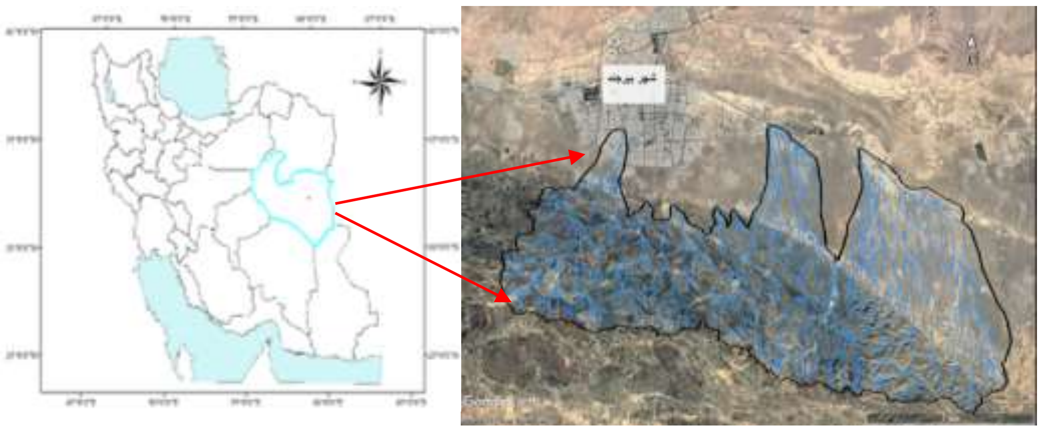
سـیل و تأثیرات اقتصـادی–اجتماعی آن‌ها با سرعت نگران‌کننده‌ای در سراسر جهان در حال افزایش است. ازآنجاکه سـیلاب‌ها بیشـترین، چالش‌برانگیزترین و خسـارت آورترین خطر طبیعی هسـتند، شـناسـایی مناطق مسـتعد سـیل به اسـتراتژی‌های جامع مدیریت سـیلاب یک مسـئله مهم اسـت (مارکانتونیس[2] و همکاران ۲۰۱۳، مارفی[3] و همکاران، ۲۰۱۵، پـاپیـانو و همکـاران، ۲۰۱۵). پژوهش حاضـر در نظر دارد مناطق مسـتعد سـیل را با اسـتفاده از مدل‌های تصـمیم‌گیری در محیط سـامانه اطلاعات جغرافیایی در منطقه باقران بیرجند پهنه‌بندی کند. در این تحقیق بر اسـاس نظرات کارشـناسان و استفاده از روش‌های AHP و BWM مناطق مستعد مولد سیل تعیین می‌گردد. روش AHP یکی از اولین و پرکاربردترین روش‌های مدل‌های تصـمیم‌گیری چند معیاره اسـت و در عوض روش BWM از جدیدترین روش‌های چندمعیاره اسـت که کم‌تر در بحث سـیل‌خیزی بکار گرفته شـده اسـت که در تحقیق مورد اسـتفاده قرار می‌گیرد.

1. Tella and Balogun
2. Markantonis
3. Marfai

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مطالعاتی

موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه منطقه کوه باقران با مســاحت ۱۱۹۰۰ هکتار در "۵ °۵۸ تا "۱۱ °۵۹ طول جغرافیایی و "۴۳ °۳۲ تا "۵۱ °۳۲ عرض جغرافیایی و در جنوب غربی شـهرسـتان بیرجند واقع شـده اسـت. متوسط بارندگی سـالانه حوزه آبخیز باقران ۱۸۸ میلی‌متر و متوسـط درجه حرارت سالیانه ۱۳/۵ درجه است. کاربری ۸۵ درصد از منطقه مرتع و ۱۳ درصـد به کشاورزی (دیم و آبی) اختصاص دارد. از نظر گسترش و تنوع سنگ‌شناسی، واحدهای زمین‌شـناسـی متعلق به دوره کرتاسـه فوقانی به‌طور وسـیعی رخنمون یافته‌اند. بلندترین نقطه آن با ارتفاع ۲۷۰۶ متر ارتفاع از سـطح دریا و پسـترین نقطه با ارتفاع ۱۴۸۰ متر در دشت بیرجند قرار گرفته است (گزارش توپوگرافی حوزه آبخیز باقران، ۱۳۹۰) (شکل ۱).

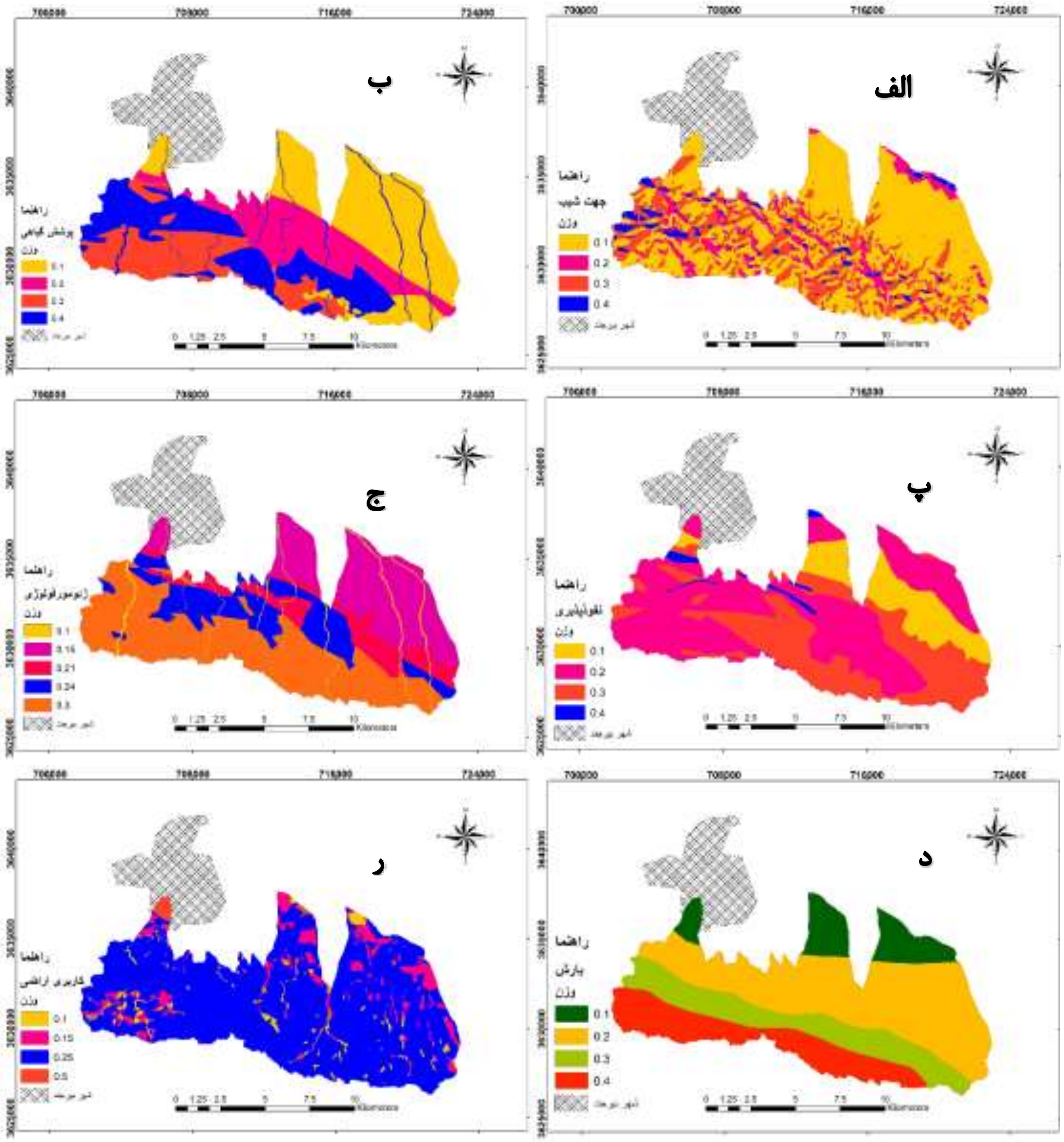


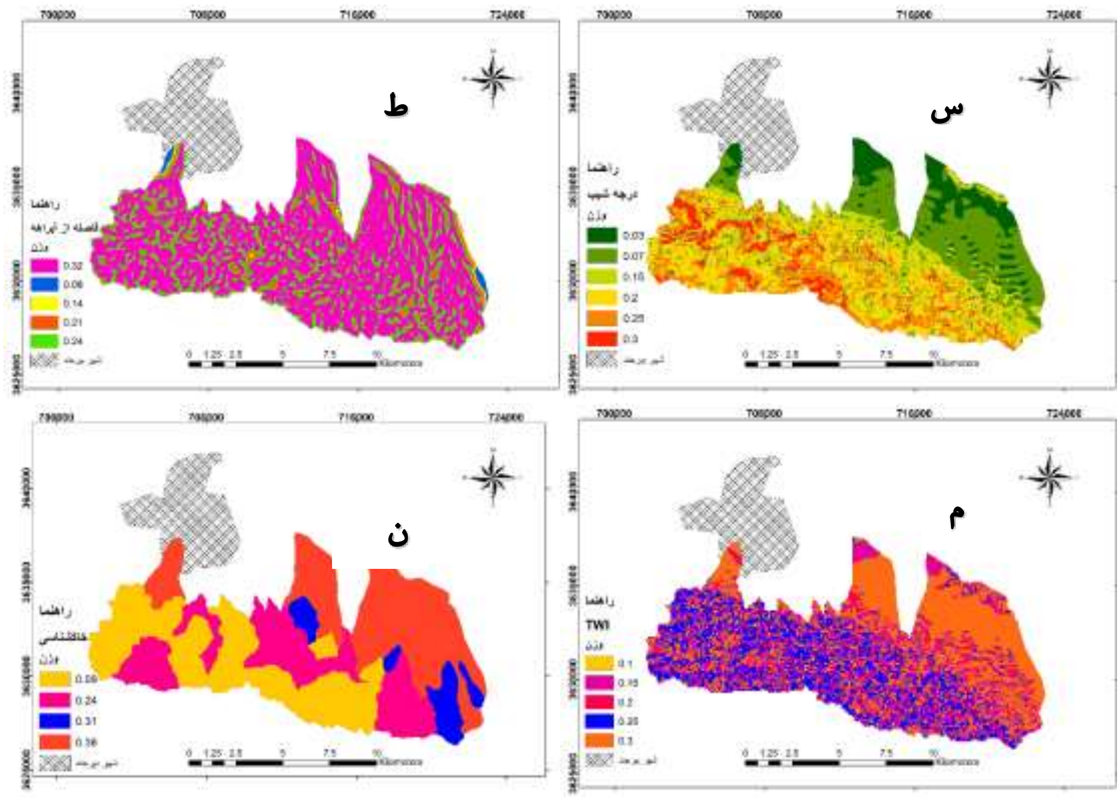
شکل ۱- منطقه موردمطالعه حوزه آبخیز باقران بیرجند

۲-۲- روش کار

امروزه تصـمیم‌گیری‌های چند معیاره مکانی و غیرمکانی در تمامی رشـته‌ها متداول شـده است (چزگی و همکاران ۱۳۹۶). بدین منظور برای تعیین مناطق پتانسـیل سـیل از دو روش تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش بهترین بدترین (BWM) در حوزه آبخیز باقران شـهرسـتان بیرجند اسـتان خراسـان جنوبی اسـتفاده شد. در این تحقیق ابتدا عوامل مؤثر بر سـیل‌خیزی منطقه (جهت شـیب، پوشـش گیاهی، نفوذپذیری، ژئومورفولوژی، بارش، کاربری اراضـی، درجه شیب، فاصله از آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی و خاکشناسی) بر اساس نظرات و مطالعات موردی در منطقه مورد اسـتفاده قرار گرفت. در ادامه داده‌های مورد نظر از سـازمان‌های منابع طبیعی، هواشـناسـی (۳۰ سـاله ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۸) و آب منطقه‌ای، برداشـت‌های صـحرایی و غیره تهیه گردید. در مرحله بعد پرسشنامه‌های طراحی شده

که شـامل ٤٢ پرســشـنامه برای تأثیر معیارها بر سـیل‌خیزی برای متخصصان امر (اجرایی و دانشگاهی) ارسال گردید و پس از تکمیل پرســشــنامه‌ها با اســتفاده از نرم‌افزار Expert Choice اهمیت نســبی معیارها به دســت آمد. در ادامه بر اسـاس اهمیت نسـبی معیارها نقشـه‌ها تهیه شـده و با هم تلفیق شـدند (شـکل ۲). درنهایت نقشه سیل‌خیزی منطقه بر اساس هر دو مدل ارائه شده به دست آمد. مراحل کلی تحقیق در شکل ۳ ارائه شده است.

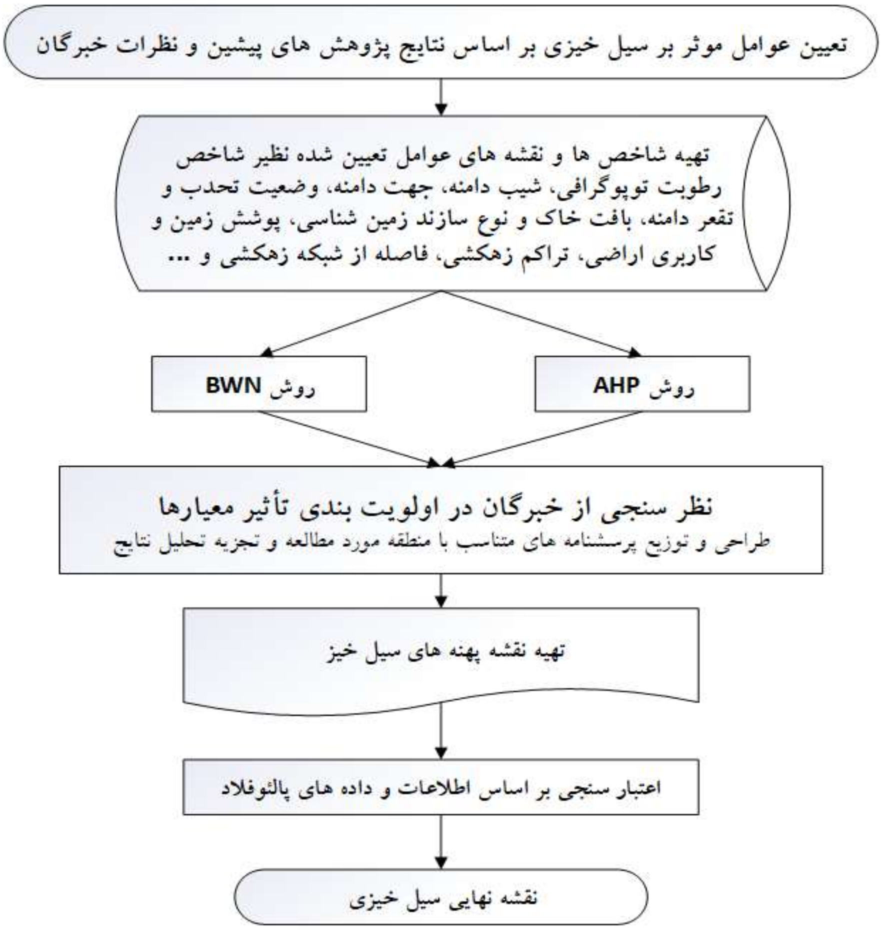




شکل ۲- نقشه‌های معیارهای مورد استفاده تعیین مناطق مستعد سیل‌خیزی (الف: جهت شیب، ب: پوشش گیاهی. پ: نفوذپذیری. ج: ژئومورفولوژی. د: بارش. ر: کاربری اراضی. س: درجه شیب. ط. فاصله از آبراهه. م: شاخص رطوبت توپوگرافی. ن: خاکشناسی)

۲-۲-۱-روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

این روش در زیرگروه هماهنگ از مدل‌های جبرانی قرار گرفته است. این روش بر اساس تحلیل فکری انسان برای مسائل پیچیده، پیشنهاد گردیده است (ساتی، ۱۹۸۰). این مدل، روشی مناسب و آسان برای تجزیه‌وتحلیل مسائل پیچیده است و اجازه می‌دهد که در فرآیندهای تصمیم‌گیری، قضاوت‌های ذهنی تصمیم‌گیرنده در کنار ساختار معیارهای تأثیرگذار در نظر گرفته شوند. درواقع AHP کمک می‌کند تا ساختار یک سامانه و محیط آن به‌گونه‌ای که اثر متقابل اجزا را در خود دارد، درک شود؛ به‌عبارت‌دیگر AHP دو رویکرد مذکور را در یک چارچوب منطقی و ترکیبی ارائه می‌دهد (آذر و رجب پور، ۱۳۸۱).



شکل ۳- شماتیک مراحل روش کار

۲-۲-۲-روش بهترین -بدترین (BWM)

روش بهترین – بدترین یکی از روش‌های جدید تصــمیم‌گیری چندمعیاره اســت که در سال ۲۰۱۵ توسط رضایی ارائه شــده اســت (محقر و همکاران، ۱۳۹٦). بهترین و بدترین شــاخص به‌وسیله تصمیم‌گیرنده مشخص شده و مقایسه زوجی بین هر یک از این دو شــاخص (بهترین و بدترین) و دیگر شــاخص‌ها انجام می‌شــود. سپس یک مسئله حداکثر حداقل[1] برای مشـــخص کردن وزن شـــاخص‌های مختلف فرموله و حل می‌گردد. همچنین در این روش یک فرمول برای محاسـبه نرخ ناسـازگاری جهت بررسی اعتبار مقایسات در نظر گرفته شده است (رضایی، ۲۰۱٦)؛ که مراحل انجام به‌صـورت ذیل اسـت: گام اول: تعیین مجموعه معیارهای پژوهش، در گام اول ابتدا باید مسـئله موردپژوهش مشخص شـود و سپس عوامل تأثیرگذار بر روی هدف مسئله استخراج می‌شود؛ و درنهایت به تأیید خبرگان پژوهش برسد. گام

1. MAXIMIN

دوم: مقایسه بهترین معیار با دیگر معیارها (BO) و دیگر معیارها با بدترین معیار (OW)، در این گام ابتدا باید با اهمیت‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین معیار از بین تمامی شاخص‌ها مشخص شود که به آن بهترین و بدترین گفته می‌شود سپس مقایسه زوجی بهترین معیار با دیگر معیارها و دیگر معیارها با بدترین معیار در قالب دو ماتریس تشکیل شود و توسط طیف ۱ تا ۹ ساعتی به آن مقایسات زوجی پاسخ داده شود. گام سوم: ایجاد مدل برنامه‌ریزی خطی، در این گام با استفاده از رابطه (۱) مدل بهینه‌سازی خطی روش BWM تعیین می‌شود(رضایی، ۲۰۱٦).

رابطه ۱

$$\min \xi^{l}$$

$$\text{S.t.}$$

$$|w_b - a_{bj}.w_j| \leq \xi^{l}$$

$$|w_j - a_{jw}.w_w| \leq \xi^{l}$$

$$\sum_j w_j = 1$$

$$w_j \geq 0. for\ all\ \ j$$

ξ^{l} = نرخ ناسازگاری

۳- نتایج

نظرات کارشناسان برای تعیین ارزش نسبی ۱۰ پارامتر استفاده شده در این پژوهش بر اساس مقایسات زوجی در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- مقایسه زوجی پارامترها بر اساس روش AHP

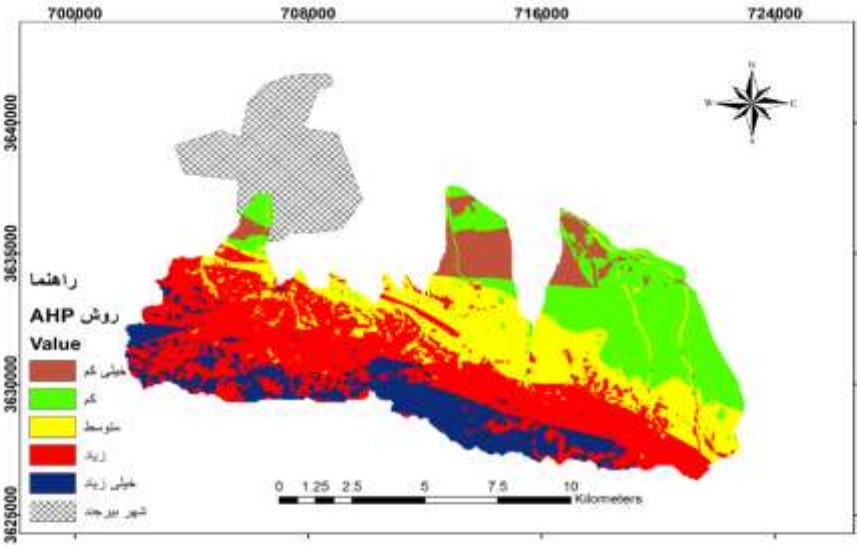
پارامتر	بارش	جهت	خاکشناسی	زمین‌شناسی	شیب	TWI	فاصله از آبراهه	نفوذپذیری	پوشش گیاهی	کاربری اراضی
بارش	۱	۷	۸	۵	٤	٦	۹	۳	۳	٤
جهت	۰/۱٤	۱	۳	۰/۲۵	۰/۲	۳	۲	۰/۱٦	۰/۱٦	۰/۱٤
خاکشناسی	۰/۱۲	۰/۳۳	۱	۲	۰/۱۲	۵	۵	۰/۲	۰/۱٤	۰/۱۲
زمین‌شناسی	۰/۲	٤	۰/۵	۱	۰/۱٤	٤	۳	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱٦
شیب	۰/۲۵	۵	۸	۷	۱	۳	۷	۰/۵	۰/۳۳	۰/۳۳
TWI	۰/۱٦	۰/۳۳	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۱	۰/۵	۰/۱٤	۰/۱٦	۰/۱٤
فاصله از آبراهه	۰/۱۱	۰/۵	۰/۲	۰/۳۳	۰/۱٤	۰/۲	۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۲
نفوذپذیری	۰/۳۳	٦	۷	۸	۲	۷	۹	۱	۳	۳
پوشش گیاهی	۰/۳۳	٦	۷	۹	۳	٦	۸	۰/۳۳	۱	۰/۵
کاربری اراضی	۰/۲۵	۷	۸	٦	۳	۷	۸	۰/۳۳	۲	۱

ارزش نسبی پارامتر بارش (سالانه) در هر دو روش AHP و BWM به ترتیب با امتیاز ۰۲۶۵ و ۰,۱۷۳ بیشترین امتیاز را داشته است، به‌طوری‌که کمترین امتیاز معیارهای شاخص رطوبت توپوگرافی و فاصله از آبراهه با ۰,۰۲۲ در روش AHP و فاصله از آبراهه با امتیاز ۰,۰۱۹ در روش BWM داشته‌اند (جدول ۲).

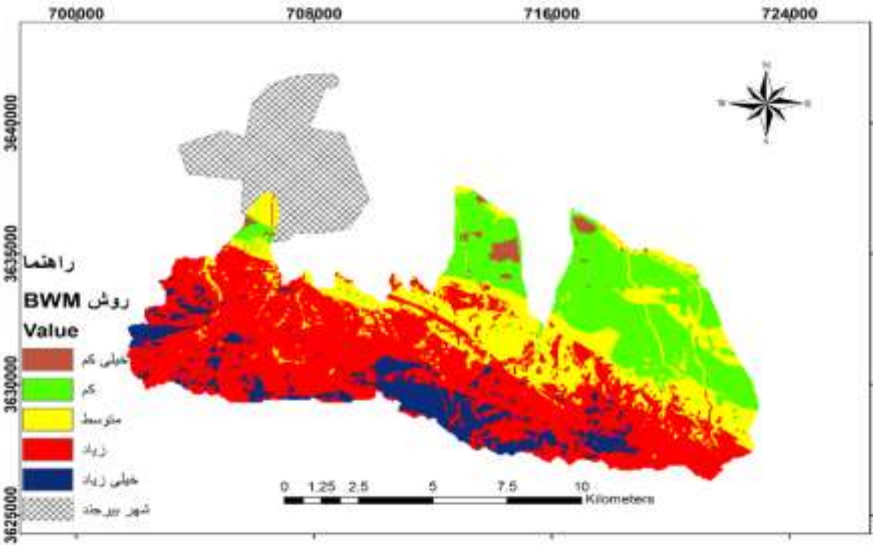
جدول ۲- ارزش نسبی پارامترها در روش AHP و BWM

روش / پارامتر	W(AHP)	W(BWM)
TWI	۰/۰۲۲	۰/۰۳۸
بارش	۰/۲۶۵	۰/۱۷۳
جهت	۰/۰۴۰	۰/۰۵۸
خاکشناسی	۰/۰۴۳	۰/۰۷۷
زمین‌شناسی	۰/۰۵۱	۰/۰۹۶
شیب	۰/۱۳۷	۰/۱۳۵
فاصله از آبراهه	۰/۰۲۲	۰/۰۱۹
نفوذپذیری	۰/۱۹۵	۰/۱۵۴
پوشش گیاهی	۰/۱۰۸	۰/۱۱۵
کاربری اراضی	۰/۱۱۷	۰/۱۳۵

پس از تلفیق نقشه پارامترها بر اساس اهمیت نسبی، نقشه مناطق مستعد سیل‌خیزی در منطقه موردمطالعه بر اساس هر دو روش AHP و BWM تهیه گردید (شکل‌های ٤ و ٥).



شکل ٤- پهنه‌بندی مناطق مستعد سیل‌خیزی با استفاده از روش AHP



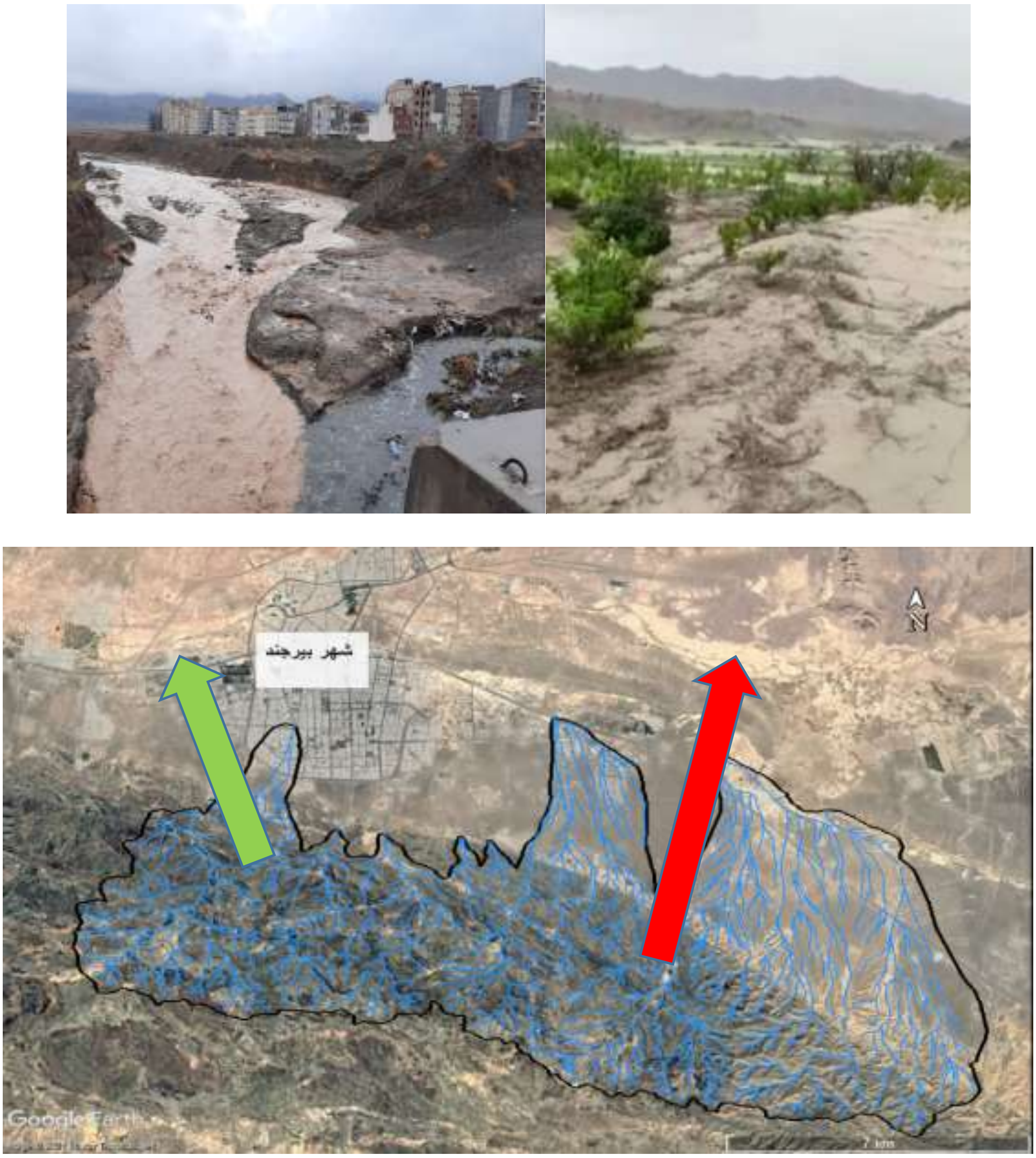
شکل ٥- پهنه‌بندی مناطق مستعد سیل‌خیزی با استفاده از روش BWM

نتایج پهنه‌بندی سیل‌خیزی نشان داد که کلاس زیاد با ارزش نسبی ٠/٢٢ تا ٠/٢٦ بیشترین مساحت را در هر دو روش دارد، کلاس خیلی کم کمترین مساحت را دارد (جدول ٣).

جدول ٣- مساحت هر کلاس(طبقه) سیل‌خیزی در روش‌های AHP و BWM

طبقه‌بندی سیل‌خیزی	مساحت (h) روش BWM	مساحت (h) روش AHP
خیلی کم	١٥٠	٨٤٦
کم	٢٧٢٨	٢٦٤٥
متوسط	٢٧٨١	٢٩٢٢
زیاد	٦١٩٢	٤٨٧٩
خیلی زیاد	١٣٠١	١٨٥٨

نتایج طبقه‌بندی نقشه‌های نهایی مناطق مستعد سیل‌خیزی در روش AHP نشان داد که کلاس‌های حداکثر و حداقل مساحت بیشتری نسبت به روش BWM دارد، و مساحت در کلاس زیاد روش BWM از روش AHP بیشتر است. ٦٣ درصد از منطقه موردمطالعه در روش BWM و ٥٧ درصد در روش AHP در طبقه زیاد و خیلی زیاد قرار دارند که نشان می‌دهد منطقه پتانسیل بالایی در سیل‌خیزی دارد که هر دو روش نتایج خوبی ارائه دادند، که با بازدید صحرایی تأیید شد. به‌طوری‌که با بارش ١٩ میلی‌متری در ٩ اردیبهشت ١٤٠٠ سیلابی شدید در منطقه موردمطالعه اتفاق افتاد (شکل ٦).



شکل ۶- سیل ۹ اردیبهشت ۱۴۰۰ در منطقه موردمطالعه

۴-بحث

همان‌طور که نتایج در جدول ۲ ارائه شد در روش AHP معیار باران با اهمیت نسبی ۰/۲۵۶ بیشترین تأثیر را از نظر کارشناسان در سیل‌خیزی منطقه موردمطالعه داشته است، همچنین معیار باران در روش BWM نیز با کسب امتیاز ۰/۱۷۳ بیشترین تأثیر را از بین ۱۰ معیار در سیل‌خیزی منطقه داشته است، که با نتایج عشقی‌زاده و طالبی ۱۳۹۳ و

قنواتی و همکاران ۱۳۹۳ که معیار شـماره منحنی و باران (رواناب) بیشـترین اهمیت نسـبی را داشـته اسـت همخوانی دارد، و با نتایج رضـایی مقدم و همکاران همخوانی ندارد چون بیشـترین امتیاز به خصـوصیات شبکه زهکشی با امتیاز ۵۷ ارائه شـده اسـت. همچنین کمترین تأثیر را از نظر کارشـناسـان در هر دو روش در سـیل‌خیزی معیارهای فاصله از آبراهه و شـاخص رطوبت توپوگرافی با اهمیت نسـبی ۰/۰۲۲ را به دست آوردند که با نتایج عشقی‌زاده و طالبی ۱۳۹۳ مطابقت ندارد چون کمترین امتیاز به جهت شـیب داده شـده اسـت و همچنین قنواتی و همکاران ۱۳۹۳ کمترین امتیاز به گروه هیدرولوژیک خاک داده شـد. نتایج جدول (۳) نشـان داد که در BWM نزدیک به ٤۸ درصـد حوزه در طبقه زیـاد قرار دارنـد، ولی در روش AHP ۳۷ درصـد منطقـه در این طبقـه قرار دارنـد کـه نشـان می‌دهد هر دو مدل تصـمیم‌گیری در طبقات خیلی زیاد و خیلی زیاد بیشـترین درصـد را دارند که با نتایج محمدی و همکاران ۱۳۹۹ که طبقه زیاد و خیلی زیاد با ۳۱ درصـد بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است، همخوانی دارد. افزایش اهمیت نسـبی معیار کاربری اراضـی در روش BWM با امتیاز ۰/۱۳۵ نسبت به امتیاز ۰/۱۱۷ در روش AHP که باعث افزایش سـیل‌خیزی منطقه به دو برابر شـد؛ بنابراین افزایش تغییرات کاربری در منطقه مورد نظر بسـیار حسـاس اسـت؛ چون منطقه کوهسـتانی و در پایاب حوزه مورد نظر شـهر بیرجند قرار دارد که می‌تواند خسـارات جبران‌ناپذیری به منطقه و شـهر وارد کند؛ بنابراین ضروری است اقدامات حفاظتی از قبیل طرح‌های آبخیزداری و احداث سیل بند در مناطقی که از حسـاسـیت بالایی برخوردارند به‌منظور جلوگیری از وقوع سـیل یا کاهش خسـارت‌های احتمالی در صورت وقوع سیل صورت بگیرد (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۹).

۵-جمع‌بندی

برای مدیریت سـیلاب باید عوامل تولید و ایجاد سـیل شـناسـایی شده و سپس مناطق دارای پتانسیل زیاد در تولید سـیل تعیین شـود. تعیین پتانسـیل سـیل‌خیزی زیرحوزه‌های آبخیز ازجمله مطالعات پایه و اسـاسـی است که می‌تواند گامی مهم در زمینه بسـترسـازی برای کاهش بلایای طبیعی باشـد. مشـخصـات فیزیکی یک حوزه آبخیز از عوامل تعیین‌کننده رخ داد این حادثه بوده و اغلب مسـائل هواشـناسـی، هیدرولوژی و حفاظت آب‌وخاک با آن در ارتباط مسـتقیم و غیرمسـتقیم اسـت. درواقع یکی از مهم‌ترین ابزارها در آنالیز هیدرولوژیکی، بررسـی پارامترهای مورفومتریک حوضـه اسـت، که ارزیابی رفتار سـیسـتم‌های هیدرولوژیکی حوضـه را امکان‌پذیر می‌کند (آنجیلیری[1]، ۲۰۰۸). تلفیق مدل‌های تصـمیم‌گیری چند معیاره و سـامانه اطلاعات جغرافیایی یکی از روش‌های نوین در تعیین مخاطرات طبیعی اسـت که در سـال‌های اخیر مطالعات زیادی در رشـته‌های مختلف انجام گرفته اسـت. در این پژوهش جهت بررسـی پتانسـیل سـیل‌خیزی از ۱۰ معیار مؤثر در سـیل‌خیزی و مدل‌های تصـمیم‌گیری چندمعیاره AHP و BWM در محیط

1. Angillieri

ســـامـانه اطلاعات جغرافیایی اســـتفاده گردید. نتایج هر دو مدل نشـــان داد که بیشـــتر منطقه در طبقه زیاد قرار دارد. بازدیدهای صـحرایی در مواقع سـیلاب و برداشـت نمونه‌های سـیلاب (شکل ٦) نشان داد که منطقه مستعد سیل‌خیزی اســـت و نیاز به مدیریت و کنترل ســـیلاب و حتی اجرای پروژه‌های آبخیزداری چون قســـمتی از حوضـــه آبخیز در بالادســت شــهر بیرجند در منطقه قرار گرفته و مسیل‌ها از داخل شهر عبور می‌کنند و می‌توانند خسارات جبران‌ناپذیری را حادث شوند.

تقدیر و تشکر

این پژوهش در قالب طرح پژوهشـــی به شـــماره ابلاغیه ۲۱٦۸٦/ د/۱۳۹۹ مورخه ۱۳۹۹/۱۲/۲۰ و با اســـتفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

کتابنامه

اربابی، آزاده؛ پناهی، نورالدین؛ محمد نژاد، وحید؛ ۱۳۸۷. بررســی پتانســیل ســیل‌خیزی با روش (SCS) و ســیســتم اطلاعات(GIS) جغرافیایی (مطالعه موردی: قلعه چای). مجله دانشنامه. دوره ۲. شماره ۱. بهار. ص ۳-۱٦.
https://daneshnameh.srbiau.ac.ir/article_4097.html

آذر، عادل؛ رجب پور، علی؛ ۱۳۸۱. تصمیم‌گیری کاربردی، انتشارات نگاه دانش. ۱۵۸ ص.
https://markaketab.com/product/

چزگی، جواد؛ سـهیلی، اسـماعیل؛ نیازی، یعقوب؛ جهانبخشـی، فرشید؛ ۱۳۹٦. مکان‌یابی و اولویت‌بندی مناطق مناسب برای احداث سـدهای اصـلاحی توری سـنگی با اسـتفاده مدل ANP (منطقه موردمطالعه حوزه آبخیز سـد طرق). نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری. سال پنجم. دوره ٤.
https://wmji.ir/fa/Default

درخشـان، شـهرام؛ ۱۳۸۹. مطالعه پتانسـیل سـیل‌خیزی حوضه آبخیز کسیلیان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. جلد ۱۳، شماره ۱. ص ۵۱-٦۳.
http://jgs.khu.ac.ir/article-۵۸۱-۱-fa.html

رضـایی مقدم، محمدحسـین؛ حجازی، سـید اسـدالله؛ ولی زاده، خلیل؛ رحیم‌پور، توحید؛ ۱۳۹۹. بررسـی حسـاسیت سـیل‌خیزی حوضـه‌های آبریز با اسـتفاده از شاخص‌های هیدروژئومورفیک (مطالعه موردی: حوضه آبریز الندچای، شـــمـال غرب ایران). مجلـه پژوهش‌هـای ژئومورفولوژی کمّی، ســـال نهم، شـــمـاره ۲، ۱۹۵-۲۱٤ ص.
10.22034/gmpj.2020.118241

رضوی، احمد؛ ۱۳۸۷. اصول تعیین حریم منابع آب، چاپ اول. انتشارات دانشگاه صنعت آب و برق تهران. ۳۳٤ ص.
https://www.gisoom.com/book/1594251

سازمان مدیریت بحران کشور؛ ۱۳۹۸. گزارش میزان بارش‌ها، تشریح حادثه استان خوزستان، اقدامات دستگاه‌ها و نهادهای ذی‌ربط، علل، نقاط قوت و پیشنهادهای سیالب فروردین ۹۸. در پاسخ به درخواست هیئت ویژه گزارش ملی سیالب‌ها.
https://news.moe.gov.ir/getmedia/90838496-0902-4021-8e1e

عشقی‌زاده، مسعود؛ طالبی، علی؛ ۱۳۹۳. بررسی کارایی فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برآورد توان سیل‌خیزی (مطالعه موردی: حوزه زوجی کاخک شهرستان گناباد). مجله پژوهش و سازندگی، پژوهش‌های آبخیزداری. شماره ۱۰۳. ۱۳ ص. 10.22092/wmej.2014.106248

علیزاده، امین؛ ۱۳۸٦. اصول هیدرولوژی کاربردی، مشهد، انتشارات آستان قدس رضوی. ص۲۷۷.
https://www.gisoom.com/book/1141600

فرهنگ فنی آبیاری و زهکشی؛ ۱۳۷٦. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. وزارت نیرو. ۱۸۳٤ ص.
http://irncid.org/276-IRAN-IRPID

قنواتی، عزت‌الله؛ صفاری، امیر؛ بهشتی جاوید، ابراهیم؛ منصوریان، اسماعیل؛ ۱۳۹۳. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از تلفیق مدل هیدرولوژیکی CN و AHP در محیط GIS مطالعه موردی: حوضه رودخانه بالخلو. فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال هفتم، شماره ۵. ۱٤ ص.
https://jopg.larestan.iau.ir/article_513086.html

محقر، علی. حسینی دهشیری، جلال‌الدین. عرب، علیرضا؛ ۱۳۹٦. بررسی و ارزیابی ریسک‌های پروژه بر پایه روش بهترین – بدترین. مجله پژوهش‌های مدیریت منابع سازمانی. دوره ۷. شماره ۲. ۱۷ ص.
https://ormr.modares.ac.ir/article-28-10018-fa.html

محمدی، غلامرضا؛ برنا، رضا؛ اسدیان، فریده؛ ۱۳۹۹. تحلیل پتانسیل سیل‌خیزی حوضهٔ آبریز قره‌سو در استان کرمانشاه .جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱–۲۳ ص.10.22067/geoeh.2021.66986.0

مهدوی، محمد؛ ۱۳۷۸. مدیریت سیل. وزارت کشور، دفتر مطالعات و هماهنگی امور ایمنی و بازسازی، برنامه عمران ملل متحد، دانشکده محیط‌زیست، ۱۳۷۸.
https://shaghool.ir/Files/164-n.pdf

نیری، هادی. ساالری، ممند. میرزا مرادی، اسرین؛ ۱۳۹۵. پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز استان کردستان با به‌کارگیری شاخص‌های مورفومتری و تحلیل‌های آماری. مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی. دوره ۵. شماره ۱(۱۷). ص ۱۸۱–۱۹۰.
https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=323105

Angillieri, M.Y.E., 2008. Morphometric analysis of Colangüil river basin and flash flood hazard, San Juan, Argentina. Environmental geology, v. 55(1), p. 107-111. https:// link.springer.com/ article/10.1007/s00254-007-0969-2

Chezgi, J. 2019. Application of SWAT and MCDM Models for Identifying and Ranking Suitable Sites for Subsurface Dams. In Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental

Sciences (pp. 189-211). Elsevier. https:// www.sciencedirect.com/ book/9 780128152263/ spatial-modeling- in-gis-and-r-for-earth-and-environmental-sciences

Dano, U L. Balogun, A L. Matori, A-N. Yusouf. K W, Abubakar, I R. Mohamed, MA. S. Aina, Y A. Pradhan, B. 2019. Flood Susceptibility Mapping Using GIS-Based Analytic Network Process: A Case Study of Perlis, Malaysia. Water. 11. 615. https://www.mdpi.com/2073-4441/11/3/615

Khosravi, K. Nohani, E. Maroufinia, E. Pourghasemi, H R. 2016. A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique. Nat Hazards. 83:947–987. https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-016-2357-2

Marfai MA, Sekaranom AB, Ward P. 2015. Community responses and adaptation strategies toward flood hazard in Jakarta, Indonesia. Nat Hazards 75:1127–1144. https:// link. springer. com/ article/10.1007/s11069-014-1365-3

Markantonis V, Meyer V, Lienhoop N. 2013. Evaluation of the environmental impacts of extreme floods in the Evros river basin using contingent valuation method. Nat Hazards 69:1535–1549. https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-013-0762-3

Mirzaei, S., & Sadoddin, A. 2019. Comprehensive flood financial losses assessment framework (direct, indirect, tangible and intangible): Flood incident on 17 April 2016, Nodeh Khandooz, the Gorganrood River Basin, Iran. Disaster Prevention and Management Knowledge (quarterly), 9(4), 383- 392. http://dpmk.ir/article-1-304-en.html

Papaioannou G, Vasiliades L, Loukas A. 2015. Multi-criteria analysis framework for potential flood prone areas mapping. Water Resour Manag 29(2):399–418. https:// link.springer. com/ article/10.1007/s11269-014-0817-6

Radwan, F., Alazba, A.A. & Mossad, A. 2019. Flood risk assessment and mapping using AHP in arid and semiarid regions. Acta Geophys. 67, 215–229. https:// link.springer. com/ article/ 10.1007/s11600-018-0233-z

Rahmati O, Pourghasemi. HR. 2017. Identification of Critical Flood Prone Areas in Data-Scarce and Ungauged Regions: A Comparison of Three Data Mining Models. Water Resour Manage (2017) 31:1473–1487. https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-017-1589-6

Rezaei, J. 2016. Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. Omega journal. 64. 126-130. https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.12.001

Saaty T., 1980. The Analytic Hierarchy Process, McGraw Hill. New York. http:// www. sciepub. com/ reference/155073

Tella, A., Balogun, AL. 2020. Ensemble fuzzy MCDM for spatial assessment of flood susceptibility in Ibadan, Nigeria. *Nat Hazards* 104**,** 2277–2306. https:// link.springer.com/ article/ 10.1007/s11069-020-04272-6